

УДК 626/627 626.86.004
DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4542

Влияние антропогенной нагрузки на формирование гидрогеологических условий Ширванской степи Кура-Араксинской низменности Азербайджана

Ч.Д. Гюльмамедов✉

ОАО «Научно Исследовательский Институт Мелиорации», Азербайджанская республика, г. Баку

✉ gcin56@mail.ru

Аннотация. Актуальность. Водные и земельные ресурсы Азербайджана находятся в ограниченном состоянии и из года в год все больше подвергаются техногенному воздействию, а использование воды и потребность в ней в республике растут большими темпами. С другой стороны, глобальное изменение климата оказывает серьезное влияние на формирование гидрогеологических процессов. В таких ситуациях изучение формирования гидрогеологических условий под влиянием природных и антропогенных факторов, рациональное и экономное использование существующих водных ресурсов и принятие опережающих мер против негативных процессов имеют исключительно важное значение. **Цель:** изучение закономерности формирования гидрогеологических условий Ширванской степи Кура-Араксинской низменности Азербайджанской Республики в многолетнем разрезе под влиянием природных и техногенных процессов. **Объекты:** подземные воды Ширванской степи Кура-Араксинской низменности Азербайджанской Республики. **Методы.** На основании результатов исследований, проведенных с 1977 по 2020 гг., по изменению среднесуточного уровня и минерализации грунтовых вод, темпов засоления почвогрунтов и по режиму грунтовых вод, а также по данным, собранным в этом направлении, изучена динамика изменения гидрогеологических условий Ширванской степи, выделены типы режима грунтовых вод и по методу наименьших квадратов найдены коррелятивные зависимости между типом режима и режимообразующими факторами – атмосферные осадки, речные артерии, водоподача на орошение, ирригационные каналы, дренаж и др. По синхронности изменения режимообразующих факторов и уровня грунтовых вод выделились генетические типы режима. **Результаты.** Под влиянием природных и антропогенных факторов изменился уровень, минерализация, химический состав грунтовых вод, засоленность и химический состав почвогрунтов. В период с 1958 по 2020 гг. уровень грунтовых вод территории в связи с проведением оросительной мелиорации поднялся более чем на 4,1 м, а их минерализация за счёт инфильтрации поверхностных и отвода минерализованных вод посредством дренажа уменьшилась на 16,2 г/л. Выделялись генетические типы режима – климатический, гидрологический, ирригационный, ирригационно-поливной-дренажный, ирригационно-поливной, и определялись площади их преимущественного развития. К климатическому типу отнесены режимы с высокой корреляционной связью колебания уровня грунтовых вод, от сезонной и многолетней периодичности атмосферных осадков; для гидрологического типа характерна аналогичная зависимость – от поверхностного стока; для ирригационно-поливной-дренажного типа – от вододачи и водосбора.

Ключевые слова: подземные воды, напорные воды, минерализация, химический состав, уровень грунтовых вод, засоление, режим, режимообразующие факторы

Для цитирования: Гюльмамедов Ч.Д. Влияние антропогенной нагрузки на формирование гидрогеологических условий Ширванской степи Кура-Араксинской низменности Азербайджана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 1. – С. 221–232. DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4542

UDC 626/627 626.86.004.67
DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4542

Anthropogenic load effect on formation of hydrogeological conditions of the Shirvan steppe of the Kura-Aras lowland in Azerbaijan

Ch.J. Gulmammadov✉

Amelioration Scientific-Research Institute LLC, Baku, Azerbaijan

✉ gcin56@mail.ru

Abstract. Relevance. Azerbaijan water and soil resources are limited and subject to technogenic impacts more and more every year. Use of water and demand for water in the republic are growing at a higher rate every year. On the other hand, global climate changes have a serious impact on formation of hydrogeological processes. In such circumstances, it is very important to study the formation situations of hydrogeological conditions under the influence of natural and anthropogenic factors, to use the available water resources efficiently and economically, and to take preventive measures against negative processes. **Aim.** To study the regularity of formation of the hydrogeological conditions of the Shirvan steppe of the Kura-Araz lowland in the Republic of Azerbaijan under the influence of natural and anthropogenic processes over a long period of time. **Object.** Subsoil waters of the Shirvan steppe of the Kura-Araz Lowland in the Republic of Azerbaijan. **Methods.** Based on the results of the studies (1977 to 2020) of perennial average level of groundwater and degree of mineralization, the rate of soil salinization, the regime of groundwater and based on the materials collected in this direction, the regime types of groundwater were separated and correlative dependence was found by the method of least squares between regime types and regime-shaping factors – atmospheric sediments, river networks, irrigation water, irrigation canals, drainage, etc. The genetic types of the regime were selected according to the factors creating the regime and the synchronicity of the groundwater level change. **Results.** Under the influence of natural and anthropogenic factors, the level of groundwater, degree of mineralization, chemical composition, salinity and chemical composition of soils have changed. From 1958 to 2020, due to the irrigation melioration, the groundwater level of the area rose by 4.1 m, due to the infiltration of surface water and removal of mineralized water through drainage, their mineralization rate decreased by 16.2 g/l. Due to the synchronicity of regime-creating factors and groundwater level changes, the genetic types of the regime were selected – climate, hydrological, irrigation, irrigation-watering, drainage, irrigation-watering and the fields of their distribution areas were determined.

Keywords: groundwater, pressure water, mineralization, chemical composition, groundwater level (level of ground water), salinity, regime, regime-forming factors

For citation: Gulmammadov Ch.J. Anthropogenic load effect on formation of hydrogeological conditions of the Shirvan steppe of the Kura-Aras lowland in Azerbaijan. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 1, pp. 221–232. DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4542

Введение

Социально-экономическое развитие каждого государства определяется по количеству и качеству его водных и земельных ресурсов. Водные и земельные ресурсы Азербайджана находятся в ограниченном состоянии и постоянно из года в год все больше подвергаются техногенному воздействию. С другой стороны, 71 % поверхностных вод республики поступает через границу соседних государств в определённой степени загрязнённости. Общие ресурсы подземных вод Азербайджана составляют 8,5–9,5 млрд м³, а поверхностные воды 26–32 млрд м³ в зависимости от водности года [1]. Общее население республики свыше 10 млн человек. В малообеспеченные годы нехватка вод – 4–5 млрд м³. Использование воды и потребность в ней в республике год от года повышается. В связи с этим надо рационально и экономно использовать

существующие водные ресурсы и искать новые источники. Одним из таких источников являются подземные воды. В последние годы беспощадная эксплуатация подземных ископаемых, в том числе подземных вод, строительство гидротехнических сооружений, широкомасштабное строительство ирригационных и мелиоративных систем, беспорядочная вырубка лесов, разрушение ландшафтов и другое приводит к изменениям геологических и гидрогеологических условий территории. Поэтому изучение изменения гидрогеологических условий под влиянием антропогенных факторов и принятие опережающих мер имеют исключительно важное значение. При добыче и охране подземных вод для защиты от загрязнения и истощения надо детально изучать гидрогеологические условия и воздействие на них природных и техногенных процессов и принимать предварительные профилактические меры.

В процессе использования подземных вод для различных целей изучение негативного влияния на гидрогеологические и экологические условия является одной из проблем, ожидающих своего решения на сегодняшний день.

Материалы исследования

Территория Ширванской степи охватывает левый берег реки Куры от Мингечаурского водохранилища на северо-западе до Агдажабульского района на юго-востоке. В границах степного ландшафта находятся территории Евлахского, Агдашского, Геокчайского, Исмаиллинского, Уджарского, Зардобского, Кюрдамирского, Ахсуинского, Шемахинского и Агдажабульского административных районов (рис. 1, 2). Общая площадь Ширванской степи составляет 680 тыс. га, из них 450 тыс. га пригодны для орошения, но из-за нехватки воды только на 225 тыс. га проводится орошение.

Засоленность почвогрунтов в южной части массива степи выше, чем на севере. Кроме того, южная часть является областью разгрузки, а северная – областью питания и транзита подземных вод. На севере почвогрунты относительно лёгкие, коэффициент фильтрации в толще 0–2 и 2–5 м составляет 3–10 м/сут, в южной части – 0,1–0,2 м/сут. Территории с коэффициентом фильтрации 0,1–0,2 м/сут составляют более 80 % от общей площади. В толще 2–5 м коэффициент фильтрации в 3–5 раз больше, чем в толще 0–2 м. Эта разность обуславливается изменением скорости потока и солевых запасов [2–7].

Общая длина ирригационных систем составляет 74000 км, а удельная длина – 10,9 м/га, площадь водной поверхности – 5,31 тыс. км² [2, 4]. Опытным путём установлено, что с коллекторно-дренажной сети (КДС) за год испаряется 6500 м³/га воды (табл. 1). Если бы повсеместное испарение было одинаковым, тогда по всем 680 тыс. га территории оно составляло бы 4,3 млн м³. Питание грунтовых вод (ГВ) по магистральным коллекторам на один погонный метр длины составляет 2,4 м³/га. В полной силе магистральные каналы в течение года работают 250 суток, межхозяйственные распределители – 180, внутрихозяйственные каналы – 60, временные сети – 40, водонакопители и водосбросы – 30 суток.

В табл. 1 указано участие среднееголетних напорных, грунтовых и орошаемых вод в дренажном стоке по междуречьям Ширванской степи, в м³/с.

В 30-х гг. прошлого века ирригационные и мелиоративные работы в Азербайджане были слабо развиты и на орошаемых территориях поливные каналы и КДС были расположены очень густо. Глубины залегания ГВ Кура–Араксинской низменности (КАН) Республики, в том числе Ширванской степи,

составил 5,0–10,0 м и более. На орошаемых территориях уровень грунтовых вод (УГВ) начал систематически подниматься. В 1951 г. на всех орошаемых территориях занимаемая площадь с глубиной залегания ГВ глубже 5,0 м снизилась с 33 до 20 % (т. е. в 1,5 раза), занимаемая площадь с глубиной залегания ГВ глубже 3,0 м снизилась в 2,6 раза (табл. 2).

Таблица 1. Участие напорных, грунтовых и орошаемых вод в дренажном стоке Ширванской степи [7, 8]

Table 1. Participation of pressurized, groundwater and irrigated water in drainage flow of the Shirvan steppe [7, 8]

Географическое расположение района Geographical location of the area	Участие различных вод в дренажном стоке Participation of different waters in drainage runoff		
	Напорные Pressurized	Грунтовые Groundwater	Орошае- мые Irrigated
Боздаг-Алиджанчай Bozdag-Alijancay	11–20	47–62	44–18
Алиджанчай-Турянчай Alijanchai-Turyanchai	13–37	35–42	42–21
Турянчай-Геокчай Turyanchai-Geokchai	25–38	33–45	42–17
Геокчай-Ахсу-Гирдиманчай Geokchai-Aksu-Girdimanchai	14–32	43–52	43–16
Предел изменения Limit of change	11–29	46–50	43–21

В Азербайджане с 1950 г. начинается новый этап в развитии орошения земли. В 1952 г. было построено и сдано в эксплуатацию Варваринское водохранилище, а в 1953 г. – Мингечаурское водохранилище, не имеющие аналогов в республике и в мире по многофункциональности (энергетика, орошение, рыбоводство, туризм, спорт и др.). Рядом со стройкой этих уникальных гидротехнических сооружений для обеспечения земли КАН орошаемой водой в 1955 г. был построен Верхне-Карабахский канал, в 1958 г. – Верхне-Ширванский канал, а в 1960 г. – магистральные каналы – Главный Муганский и имени Сабира [4, 7]. Уже в 1960 г. площадь орошаемых земель Республики составляла 950 тыс. га. В настоящее время общая орошаемая территория Республики составляет 1428 тыс. га.

Строительство гидротехнических сооружений и ирригационных систем и расширение орошаемых территорий привело к основательным изменениям естественного режима ГВ. За очень короткий срок за счёт потери воды из орошаемых каналов и широкого применения интенсивного поверхностного орошения УГВ приближался к поверхности земли [9–15].

Таблица 2. Площадь залегания грунтовых вод по глубине (в знаменателе – 1951 г., в числителе – 1962 г.) в степях Кура-Араксинской низменности, в % от общей площади [4, 7, 8]

Table 2. Area of groundwater occurrence by depth (in the denominator – 1951, in the numerator – 1962) in the steppes of the Kura-Araks lowland, in % of the total area [4, 7, 8]

Степи/Steppes	Площадь, км ² Area, km ²	Глубина залегания грунтовых вод, м Depth of groundwater occurrence, m					
		0–1	1–2	2–3	3–5	5–10	>10
Ширваская/Shirvanskaya	6917	<u>0,1</u> 18,06	<u>10,6</u> 24,20	<u>16,6</u> 22,15	<u>31,5</u> 19,79	<u>36,4</u> 13,80	<u>4,8</u> 19,0
Юго-восточный Ширван/Southeast Shirvan	1563	<u>18,3</u> 25,3	<u>25,5</u> 32,10	<u>28,8</u> 20,10	<u>18,3</u> 15,30	<u>14,0</u> 7,20	–
Карабахская/Karabakh	2054	<u>6,5</u> 14,5	<u>20,47</u> 51,9	<u>14,8</u> 20,45	<u>29,53</u> 7,69	<u>16,9</u> 5,8	<u>11,8</u> –
Мильская/Miliska	2907	<u>8,8</u> 12,8	<u>20,6</u> 50,19	<u>34,8</u> 24,03	<u>28,6</u> 8,42	<u>7,2</u> 5,18	–
Муганская/Muganskaya	4658	<u>8,5</u> 16,6	<u>36,6</u> 62,4	<u>40,4</u> 20,40	<u>14,5</u> 0,6	–	–
Сальянская/Salyanskaya	727	<u>20,0</u> 56,4	<u>30,0</u> 14,5	<u>32,9</u> 6,60	<u>17,1</u> 12,5	–	–
Итого по Кура-Араксинской низменности Total for the Kura-Araks lowland	18826	<u>6,36</u> 18,44	<u>22,04</u> 40,95	<u>26,15</u> 21,45	<u>24,92</u> 11,33	<u>17,43</u> 7,10	<u>3,10</u> 0,73

В 1962 г. занимаемой площади ГВ, залегающей на глубине больше 10,0 м, можно сказать, вообще, не было на карте. ГВ, залегающие на глубине 0–5,0 м, занимали более 84 % территории Ширванской степи (табл. 2). За исключением предгорных частей степи, глубина залегания ГВ меньше 5,0–10,0 м нигде не встречалась.

Источники зоны питания, уровневый и химический режимы, закономерности формирования и другие параметры грунтовых вод КАН, в том числе в Ширванской степи, более широкомасштабно изучены Ю.Г.Исрафиловым [8]. ГВ Ширванской степи по различным направлениям изучали Ф.П. Саваренский, В.А. Приклонский, Н.В. Роговская, Ф.Ш. Алиев, В.А. Листенгартен, Э.Р. Фиалко, А.К. Алимов, С.М. Эфендиева, Ю.Г. Исрафилов, Ч.Дж. Гюльмамедов и др. [4–6].

Гидрогеологические условия Ширванской степи формировались под влиянием различных естественных и техногенных факторов, таких как рельеф местности, климат, гидрографические сети, геолого-тектоническое строение, ирригационно-орошаемые системы, атмосферные осадки и др. Отличие Ширванской степи от других предгорных равнин – в образовании осадков второго конуса выноса внутри степных рек. Реки, взявшие свое начало с южных склонов Большого Кавказа – Аладжанчай, Турианчай и Геокчай – свои первичные выносы (крупнообломочные) образуют в Ганых-Агричайской долине, а потом, пересекая Аджиногурские глинистые породы неогенового возраста, формируются в Ширванской степи. В связи с этим в литологическом составе конусов выноса этих рек на территории Ширванской степи преимущественно наблюдаются мелкозернистые пески, суглинки и глины. И это действует на количественный и каче-

ственный состав подземных водных ресурсов, то есть на гидрогеологические условия. Здесь особую роль играет геологическое строение территории [14–21]. В связи с этим на территории конусов выноса рек сформировались грунтовые и подземные напорные воды, а в межконусных депрессиях и в восточных частях степи – только грунтовые воды.

На территории Ширванской степи толщина осадочных пород больше, но гидрогеологические условия изучены в основном в верхней 300–400 м толще, и здесь вскрыты грунтовые и три напорных водоносных горизонта. Эти водоносные горизонты взаимосвязаны и образуют единую гидравлическую систему.

В различные периоды года, в основном в осенне-зимний период, УГВ расположен относительно глубоко. Начиная с апреля месяца, он постепенно поднимается и в июле–августе наблюдается максимальная амплитуда. С октября по январь наблюдается понижение уровня. На территории, где глубины залегания УГВ до 3,0 м, не происходит их значительного падения и повышения. В редких случаях эти изменения происходят в интервале 0,3–0,6 м. Однако на орошаемых площадях, находящихся ближе к каналам, амплитуда изменения УГВ составляет 0,3–0,6 м, иногда больше.

В 1989 г. на территории Ширванской степи глубины залегания УГВ до 1,0; 1,0–1,5; 1,5–2,0; 2,0–3,0; 3,0–5,0 и более 5,0 м, соответственно, составляли от общей орошаемой площади 4,3; 18,0; 28,5; 36,8; 10,2 и 2,2 %, а в 2016 г., соответственно, были 6,3; 14,8; 23,0; 41,7; 14,5 и 1,8 %. Как видно по В.Р. Волобуеву, в 1989 г. на орошаемых массивах площади, где глубина залегания выше критического уровня, составляют 22,2 %, а в 2016 г. – 21,1 %. Это связано с тем, что на территории больше дренажного стока [7, 8].

Если в 1989 г. орошаемые площади с минерализацией ГВ ниже 1,0; 3,0 и выше 3,0 г/дм³, соответственно, составляли от общей площади 14,8; 32,2 и 53,0 %, то в 2018 г. они составляли 26,7; 33,1 и 40,2 %.

На Ширванском орошаемом массиве в 1989 г. засоленные, слабо, сильно и очень сильно засоленные территории соответственно составили 37,6; 38,4; 14,9 и 9,1 %, а в 2018 г. – 44,7; 29,0; 18,1 и 8,2 %.

Грунтовые воды распространены в конусах выносов рек и в прикуринской полосе на всей территории Ширванской степи, и глубина залегания их различна – от 1,0 до 5,0 м, иногда ещё глубже. ГВ с залеганием глубже 5,0 м в основном наблюдаются в верхней части конусов выносов рек. На юге, в прикуринской полосе, грунтовые воды залегают на глубине в 3–5 м (табл. 3, 4). Коэффициент фильтрации пород водоносного горизонта изменяется в интервале 0,1–22,0 м/сут, самое высокое значение имеет верхняя часть конусов выноса. При откачке воды из скважин дебит составлял 0,06–6,0 л/с, а удельный дебит – 0,54 л/с м. В предгорной части конусов выноса и в прикуринской полосе минерализация ГВ составляет до 1 г/дм³, а в низменной части повышается и достигает до 50,0 и более г/дм³, а жёсткость воды – 1,43–25,54 мг-экв/л [1, 4].

Первый напорный водоносный горизонт вскрыт на скважинах на трёх участках, отделяющихся друг от друга. Аличанчай-Турианчай, Геокчай и Гирдиманчай-Ахсучайский – конусы выносов осадков хвалынского возраста на глубине 31–182 м. Они отделяются от ГВ глинами мощностью 5–85 м (табл. 3). Водоносные горизонты в верхней части Ахсучайского конуса выноса представлены щебнем и гравием, а на остальном участке – песками и супесями. Мощность водоносного горизонта изменяется в интервале 15–77 м. Пьезометрический уровень воды до эксплуатации Верхне-Ширванского канала по всей территории находился ниже поверхности земли, а в настоящее время – местами 0,9–16,5 м ниже, на севере 0,64–4,6 м выше, на юге, на левом берегу реки Куры, – 1,3–4,3 м ниже поверхности земли. На Геокчайском участке пьезометрический уровень воды и ниже поверхности земли (–20,8 м) и выше (+7,2 м), а на Гирдиманчай-Ахсучайском участке – выше поверхности земли (+0,4 – +8,2 м). Абсолютная отметка рельефа изменяется от 76,3 до 0 м, уклон местности 0,02–0,007. Коэффициент фильтрации водоносных пород изменяется в интервале 0,3–25,5 м/сут. При откачке воды из скважин дебит составлял: на Алиджанчай-Турианчайской участке – 13,3 л/с, на Геокчайском – 9,2 л/с, а на Гирдиманчай-Ахсучайском – 1,4 л/с, удельный дебит составил 1,0–4,2 л/с м. В верхней и центральной частях конусов выноса минерализация вод составляет до 1,0 г/дм³, по нижней части до

60,0 г/дм³, а жёсткость воды 1,43–300,0 мг-экв/л [1, 4].

Второй напорный водоносный горизонт вскрыт скважинами в породах хазарского возраста на глубине 75–274 м, а в прикуринской полосе – 150–235 м (табл. 3). Этот горизонт встречается повсюду, кроме Алиджанчайского конуса выноса. Второй водоносный горизонт от первого отделяют глинистые пески мощностью 10–160 м, а местами 70–110 м. Водоносные породы в верхней части конусов выносов представлены щебне-гравием и песком, в центральной части – песками, в прикуринской полосе – песком и песчаниками. Мощность их изменяется в пределах 10–40 м (местами 77 м) [1, 4]. Коэффициент фильтрации водоносных пород составляет 0,3–35,3 м/сут, а коэффициент водопроницаемости – 10–30 м²/сут. Пьезометрический уровень на Гирдиманчай-Ахсучайском участке установлен выше поверхности земли – 2,1–2,7 м, на Геокчайском участке и ниже, и выше поверхности земли, а на Алиджанчай-Турианчайском участке – ниже поверхности, в прикуринской полосе – выше поверхности земли – 1,3–4,3 м. Уклон потока 0,02–0,0004. При откачке воды из скважин дебит изменяется в пределах 0,18–6,7 л/сек, а удельный дебит составляет 0,03–1,0 л/с м. Общая жёсткость воды изменяется в интервале 3,6–15,8 мг-экв/л, а минерализация вод составляет до 0,4–4,2 г/дм³.

Третий напорный водоносный горизонт вскрыт скважинами на Алиджанчай-Турианчайском и Гирдиманчайском участках с осадками бакинского возраста в конусах выноса рек на глубинах 62–333,4 м (табл. 3). На Геокчайском участке третий напорный водоносный горизонт не встречается. Третий напорный водоносный горизонт от второго отделяется глинистыми слоями мощностью 7–165 м, а во многих местах 10–80 м. Водоносные породы в основном образованы мелко и тонко зернистыми песками и супесями, внутри них часто встречается тонкий глинистый слой. Мощность этих грунтов составляет 4,5–86,4 м, в основном 20–70 м. Их коэффициент фильтрации 0,1–17,9 м/сут, в основном 9 м/сут. Пьезометрический уровень воды однозначно расположен выше поверхности земли – 7,5–23,0 м. При откачке воды дебит скважины изменяется в интервале 3,01–8,5 л/с, удельный дебит составляет 0,41–1,0 л/с м. Общая жёсткость воды изменяется в интервале 1,2–111,8 мг-экв/л, а минерализация вод составляет 0,9–27,2 г/дм³.

Химический состав подземных вод разнообразный. В средней части конусов выноса рек минерализация подземных вод составляет 10–25 г/дм³, а в межконусных депрессиях – 31–35, ещё дальше – 25–50, в восточной части территории 30–55 г/дм³ и более. При изменении минерализации происходит мозаичное изменение химического состава подземных вод.

Таблица 3. Гидрогеологические параметры по пористо-слоистому водному бассейну Ширванской степи (до глубины 300–400 м, на 2018 г.) [1, 4, 7]

Table 3. Hydrogeological parameters across the porous-layered water basin of the Shirvan steppe (to a depth of 300–400 m, for 2018) [1, 4, 7]

Водоносные горизонты Aquifers	Отметка кровли водоносного горизонта Aquifer roof height	Статический и пьезометрический уровни Static and piezometric levels	Гидравлический уклон Hydraulic slope	Мощность водоносного горизонта Aquifer thickness	Дебиты скважин Flow rates of wells	Удельный дебит Specific flow rate	Коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут Aquifer filtration coefficient, m/day
	м/м				л/с м/l/s m		
Алиджанчай-Турянчайская территория Alijanchay-Turyanchay territory							
Безнапорный Unpressurized	–	0,4–25	0,025–0,0007	4,4–109,6	0,05–11,8	0,02–5,4	0,2–64,1
I напорный I pressure	13–128	+1,2–16,5	0,02–0,0007	4,8–170,7	0,2–13,3	0,04–3,4	0,4–27,9
II напорный II pressure	75–255	+5,5–14,5	0,025–0,0004	6,1–73,8	0,1–6,7	0,03–2,7	0,2–15,1
III напорный III pressure	62–316	–	0,05–0,004	4,5–49,1	0,05–7,1	0,02–3,8	0,1–17,9
Геокчайская территория Geokchai territory							
Безнапорный Unpressurized	–	0,5–73,3	0,025–0,0008	3,5–119,5	0,07–3,1	0,02–3,5	0,1–25,9
I напорный I pressure	21–100	+7,2–20,8	0,02–0,002	3,6–107,5	0,07–9,2	0,02–4,2	0,3...18,2
II напорный II pressure	93–274	+16,4–3,7	0,02–0,002	4,7–52,4	0,04–8,3	0,01–0,7	0,1–17,2
Гирдиманчай-Ахсучайская территория Girdimanchay-Akhsuchay territory							
Безнапорный Unpressurized	–	0,5–44,3	0,03–0,002	13,9–178,6	0,07–1,5	0,02–1,1	0,2–21,6
I напорный I pressure	21–83	+8,2–9,7	0,02–0,002	3–51	0,06–1,4	0,02–1,4	0,2–18,3
II напорный II pressure	83–170	+19,1–+2,9	0,02–0,0022	3,6–30,2	0,12–2	0,03–1,5	0,2–35,3
III напорный III pressure	89–240	18,6–43,2	–	7,7–86,4	0,04–4,1	0,003–0,4	0,1–9,9

Поэтому в составе пресных и маломинерализованных подземных вод преимущественно наблюдаются ионы гидрокарбоната, сульфата, калия и магния [21–26]. Химические типы воды в основном гидрокарбонатно-калиевые, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-калиевые, гидрокарбонатно-сульфатные калиево-магниевые и др. На территории, где минерализация воды выше 25–50 г/дм³, типы воды изменяются до хлоридно-натриевых.

По данным проведённых исследований и анализа собранных материалов можно сказать, что, если в 1989 г. территории, где уровень залегания ГВ до 1,0; 1,0–1,5; 1,5–2,0; 2,0–3,0; 3,0–5,0 и более 5,0 м, соответственно, составляют 4,3; 18,0; 28,5; 36,8; 10,2 и 2,2 % от общей площади, то в 2018 г. – 6,3; 14,8; 23,0; 41,7; 14,5 и 1,8 % (табл. 4, рис. 1). Пригодные для использования подземные воды (минерализация 1–3 г/дм³) распространены в верхней и средней частях конусов выноса рек. Общая минерализация подземных вод увеличивается по направлению к их движению, в средней части конусов выноса минерализация повышается на 3 г/дм³ и более и непригодна для использования. С повышением минерализации

происходит изменение химического состава подземных вод. Пресные и маломинерализованные воды имеют гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, сульфатно-гидрокарбонатный магниевый и смешанный состав катионов.

Там, где минерализация имеет большое значение, типы воды подвергаются метаморфизму до хлористо-натриевого типа. В общем, в большей части Ширванской степи наблюдается ограниченное количество подземных вод. А по направлению оси конусов выноса рек Геокчай, Турянчай и Ахсучай территории считаются благоприятными.

После 1975 г., с отводом ГВ коллекторно-дренажными системами, в 0–2 м толще засоленность грунтов уменьшилась на 0,19 %, а в толще 2–5 м – на 0,21 %. При оросительных каналах и на орошаемых территориях встречается хлоридно-сульфатно-магниевая и сульфатно-натриевые типы воды (0,3–1,0 % засоленности), а иногда хлоридно-сульфатно-натриево-калиевый тип засоленности (1,0–1,5 %) [1–8].

Сульфатно-магниевые-натриевые, иногда сульфатно-натриево-магниевые засоленность (1,5–2,0 %)

встречается на пашне и на целине. Сульфатно-кальциево-натриевая иногда сульфатно-натриево-кальциевая (2,0–2,5 %) и сульфатно-магниевое-кальциево-натриевая (2,5–3,0 %) – на целине, особенно в толще до 1,5 м и в слабоорошаемых зонах. Сульфатно-натриевая засоленность встречается в 0–50 м толще [7, 21].

В зоне аэрации и зоне насыщения встречается сульфатно-кальциево-натриевый и сульфатно-магниевое-кальциево-натриевый, особенно сульфатно-натриевый тип засоления. Из-за того, что в обеих зонах содержится одинаковый тип засоления, можно сделать вывод, что источником засоления вод зоны аэрации являются ниже расположенные горизонты.

Аналогичные типы засоленности встречаются во взвешенных и донных приносах потоков речных

вод. Величина и тип засоленности зависят непосредственно от солевого состава зоны.

Под влиянием антропогенных факторов в течение 60 лет УГВ поднялся более чем на 4,0 м. В 1962 г. на большей части площади Шарванской степи (около 84,0 %) подземные воды залегали на глубине 0–5,0 м, а в 1970–1980 гг. площадь территорий с глубиной залегания подземных вод 0–3,0 м увеличилась до 90 %. Поднятие УГВ продолжалось до 1995 г. с различной интенсивностью в связи с отсутствием или плохой работой КДС, что сопровождалось продолжением процесса засоления почвогрунтов [7]. В последующие годы в связи со строительством КДС и интенсификацией процессов испарения с поверхности ГВ, расположенных ближе к поверхности земли, глубины залегания УГВ постепенно стабилизировались.

Таблица 4. Уровень залегания, минерализация грунтовых вод и степень засоления почвогрунтов в Шарванском орошаемом массиве (тыс. га) [4–8]

Table 4. Level of occurrence, groundwater salinity and degree of soil salinization in Shirvan irrigation massif (thousand ha) [4–8]

Районы/Districts	Годы Years	Орошаемые площади, пригодные для сельского хозяйства. Irrigated areas suitable for agriculture	Глубина залегания грунтовых вод, м Depth of groundwater occurrence, m					Степень минерализации грунтовых вод, г/дм ³ Groundwater salinity degree, g/dm ³			Степень засоления почв, % Soil salinity degree, %			
			<1,0	1,0–2,0	2,0–3,0	3,0–5,0	>5,0	<1,0	1,0–3,0	>3,0	Незасоленные Non-saline	Слабозасо- ленные Subsaline	Среднезасо- ленные Medium saline	Сильнозасо- ленные Highly saline
Агдашский / Agdash	1984	37,7	1,7	16,4	16,8	2,8	0	4,5	17,8	15,4	8,2	15,6	8,9	5,0
	1985	37,7	2	16,6	16,3	2,8	0	4,6	19,3	13,8	9,1	17,6	7,4	3,6
	1986	39,3	3,6	19,6	13,6	2,4	0	4,4	18,8	16,1	18,4	15	4,6	1,3
	1987	38	1,8	14,6	14,8	5,1	0,7	5,8	14,2	18	19	12,4	4,5	2,1
	1988	38,1	1,7	14,7	15,8	5,2	0,7	5,9	14,2	18	19,1	12,6	4,6	1,8
	1989	38,3	1,7	14,7	14,5	5,6	1,8	6	14,1	18,2	19,1	12,8	4,5	1,9
	2012	34,5	4,2	15,0	8,4	4,3	2,5	4,02	23,9	6,5	12,1	10,9	8,1	3,4
	2013	34,5	2	16,2	11	5,3	–	3,6	18,4	12,5	12,1	10,9	8,1	3,4
	2014	34,5	1,6	15,7	11,6	5,1	0,47	4,99	18,9	10,6	12,1	9,9	8,1	4,4
	2015	34,5	0,27	20,1	11,2	3	–	18,2	12,2	4,1	13,7	10,9	5,8	4,1
Геокчайский / Geokchai	1984	25,9	2,8	9,1	11,8	2,2	0	1,2	11,6	13,1	12,1	6	4,3	3,5
	1985	26	2,6	9,6	11,6	2,2	0	1,5	13,2	11,3	13,1	5,6	4,3	3,0
	1986	26,1	2,5	11,8	9,4	2,4	0	9,3	9,1	7,7	13,2	6,5	3,8	2,6
	1987	26,5	0,8	11,0	10,9	3,6	0,2	9,9	9,6	7	13,4	6,8	3,4	2,9
	1988	26,2	0,6	11,0	10,8	3,6	0,2	9,9	9,7	6,6	13,1	7,1	3,2	2,8
	1989	26,7	0,6	11,8	10,3	3,9	0,1	10,3	10,6	5,8	13,5	7,6	3	2,6
	2012	26,2	4,1	9,8	5,4	4,4	2,5	9,6	10,9	5,7	14,9	6,1	3,9	1,3
	2013	26,2	1,9	9,6	10,9	3,8	–	7,1	10,6	8,5	14,9	6,1	3,9	1,3
	2014	26,2	1,4	9,5	9,7	4,3	1,3	6,8	11,7	7,7	12,9	6,1	3,9	3,3
	2015	26,2	0,36	12,0	9,9	3,9	–	14,6	5,2	6,4	15,7	5	4,4	1,1
Зардобский / Zardobsky	1984	30	8,1	9,7	4,8	2,1	5,3	2,5	4,4	23,1	7,3	2,5	3,6	16,6
	1985	30,3	3,7	18,0	7,8	0,8	0	4,5	11,7	14,1	7,6	7,4	3,6	11,7
	1986	30,4	3,4	17,2	8,9	0,9	0	4,6	11,4	14,4	7,9	7,3	3,7	11,5
	1987	31	1,6	21,7	6,9	0,8	0	4,1	8,6	18,3	9,5	9,3	4,4	7,8
	1988	30,8	1,5	21,6	6,9	0,8	0	4,2	8,9	17,7	9,6	9,4	4,4	7,4
	1989	31,3	1	20,1	9	1,2	0	4,4	13,7	13,2	9,5	8,7	5,8	7,3
	2012	32,7	0,79	15,9	10,5	5,6	0,45	2,7	10,2	20,3	13,2	8,1	5,2	6,7
	2013	33,2	0,78	15,6	11	5,8	–	2,8	10,2	20,1	13,2	8,1	5,2	6,7
	2014	33,2	0,73	14,9	12	5,6	–	2,7	10,9	19,6	13,2	8,1	5,2	6,7
	2015	33,2	0,45	11,8	17,6	3,4	–	5,9	14,6	12,7	9,5	11,3	7,4	5
2018	33,2	0,5	14,0	13,0	5,7	–	–	4,9	15,5	12,8	9,5	11,3	7,4	5,0

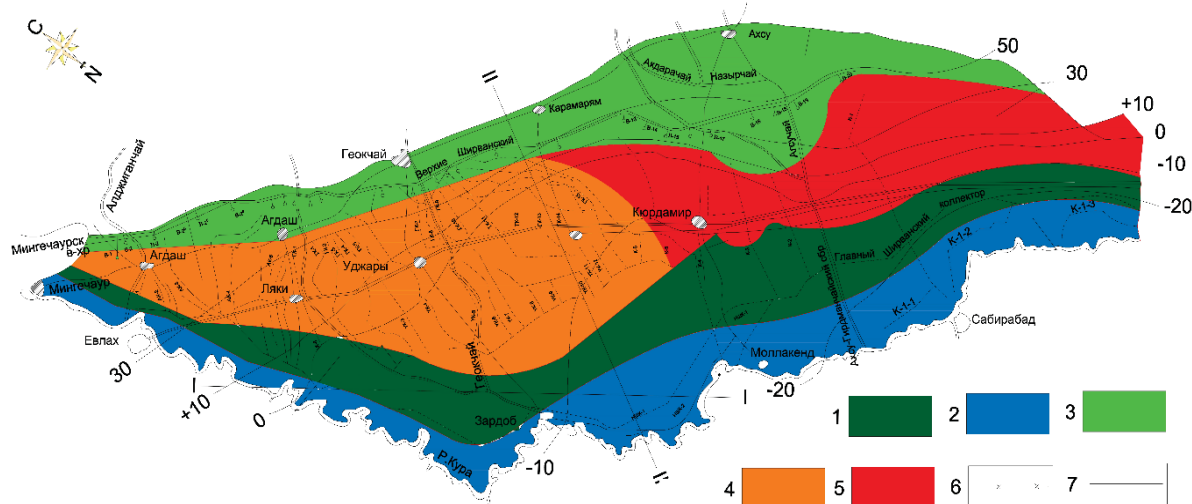


Рис. 2. Схематическая карта районирования Ширванской степи по типам режима грунтовых вод за 1980–2020 гг. (составлена Ч.Д. Гюльмамедовым). Типы режима: 1 – ирригационно-климатический; 2 – гидрологический; 3 – ирригационный; 4 – ирригационно-поливно- дренажный; 5 – ирригационно-поливной; 6 – линии типа режимов; 7 – гидроизогипсы

Fig. 2. Schematic map of Shirvan steppe zoning by types of groundwater regime for 1980–2020 (compiled by Ch.D. Gulmamedov). Regime types: 1 – irrigation-climatic; 2 – hydrological; 3 – irrigation; 4 – irrigation-irrigation-drainage; 5 – irrigation-irrigation; 6 – line type modes; 7 – hidroisohypses

Режим ГВ Ширванской степи изучали многие исследователи: О.П. Саваренский, В.А. Приклонский, Н.В. Роговская, Д.М. Кац, Г.Ю. Ибрафимов, Ф.Ш. Алиев, Ч.Дж. Гюльмамедов и др. [2–8]. К настоящему времени имеется большое количество работ, рассматривающих этот вопрос в различных аспектах [17–28].

Нами при обработке материалов многолетних наблюдений за режимом подземных вод были выполнены две стадии исследований. Сначала выявлялись качественные, а затем устанавливались количественные связи между генетическими типами режимов и режимообразующими (атмосферные осадки, орошение, климат и др.) факторами. Качественную определяли путём визуального сопоставления хронологических интегральных и типовых кривых, а количественную – путём статистической обработки показателей режима, методом наименьших квадратов выявлены корреляционные зависимости [4, 7]. Выделялись генетические типы режима – климатический, гидрологический, ирригационный, ирригационно-поливно-дренажный, ирригационно-поливной (рис. 2).

К климатическому типу отнесены режимы с высокой корреляционной связью колебания УГВ от сезонной и многолетней периодичности атмосферных осадков; для гидрологического типа характерна аналогичная зависимость – от поверхностного стока, для ирригационно-поливно-дренажного типа – от водопада и водосбора. Климатический режим распространен там, где нет влияния искусственных факторов. Коэффициент корреляции

между глубиной залегания ГВ и атмосферными осадками (A) равен 0,68. Гидрологический тип режима выделен в зоне влияния р. Куры, где отсутствует влияние дренажа, которое характеризуется синхронностью сезонных и интегральных кривых УГВ и расхода р. Куры. Коэффициент корреляции между УГВ и стоком реки составляет 0,75 [7]. Ирригационный тип режима формируется под влиянием инфильтрационных вод через каналы и орошаемые поля. Коэффициент корреляции между УГВ и расходами канала равен 0,91. Ирригационно-поливно-дренажный тип выявляется на основании тесной корреляционной зависимости от дренажного стока при коэффициенте корреляции 0,74. Ирригационно-поливной тип режима ГВ имеет тесную корреляционную связь с водопадочей. Влияние водопада на УГВ, помимо подпитывания их фильтрационными водами, оказывают также инфильтрационные воды с орошаемых полей.

Заключение

В Ширванской степи гидрогеологические условия под воздействием антропогенных факторов подверглись серьезному изменению. С 1930 г. за счёт строительства крупных гидротехнических сооружений и ирригационно-мелиоративных систем, а также расширения орошаемых площадей и интенсивного применения поверхностного орошения резко изменился уровень и гидрохимический режим ГВ. В 1930 г. уровень залегания ГВ в среднем составлял 7,0 м, а в 1970 г. – 2,4 м. С 1930 по 1950 гг. уровень грунтовых вод за год поднимался

в среднем на 5 см, а с 1950 по 1980 гг. – на 19 см, в последующие годы за счёт испарения и работы коллекторно-дренажных сетей уровень стабилизировался. После строительства Верхне-Ширванского канала, через пять лет (построен в 1958 г.), пьезометрический уровень первого напорного водоносного горизонта вышел на поверхность земли, а потом стабилизировался. На исследуемой территории гидрохимический режим ГВ серьёзно изменился и уменьшился более чем в два раза, а напорный не изменился. Минерализация ГВ с 1950 по 1960 гг. поднялась, а после постепенно снизилась. Это связано с поступлением орошаемых вод в грунтовые воды и с работой коллекторно-дренажных сетей. Выявлено, что грунтовые и напорные воды одинакового минералогического состава различаются по химическому составу и типу. Грунтовые воды со степенью минерализации до $1,0 \text{ г/дм}^3$ в основном составе являются сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевыми, а напорные воды гидрокарбонатно-сульфатно-кальцево-магниевыми. А со степенью

минерализации до $3,0 \text{ г/дм}^3$ в основном хлоридно-сульфатно-натриевого типа и сульфатно-хлоридно-магниевого типа.

В течение 80 лет на территории Ширванской степи УГВ поднялся более чем на 4,1 м, а минерализация их уменьшилась на $16,2 \text{ г/дм}^3$. Режим подземных вод в основном формируется за счёт орошения земель и дренажа.

По синхронности изменения режимобразующих факторов и уровня ГВ выделялись генетические типы режима – климатический, гидрологический, ирригационный, ирригационно-поливной-дренажный, ирригационно-поливной, и определялись площади их преимущественного развития. К климатическому типу отнесены режимы с высокой корреляционной связью колебания уровня ГВ, от сезонной и многолетней периодичности атмосферных осадков; для гидрологического типа характерна аналогичная зависимость – от поверхностного стока, для ирригационно-поливного-дренажного типа – от водоподачи и водосбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ф.Ш. Подземные воды Азербайджанской республики, использование запасов и геологические проблемы. – Баку: Чашыоглы, 2000. – 325 с.
2. Ахмедзаде А.Д., Гашимов А.Д. Кадастр мелиоративных и водохозяйственных систем. – Баку: Азернешр, 2006. – 626 с.
3. Оценка гидрогеолого-мелиоративного условия земель, расположенных в зоне влияния Верхне-Ширванского канала и разработка научно обоснованных мероприятий для её улучшения / Г.А. Хасаев, Д.М. Исмаилов, М.Я. Асадов, П.А. Абдуллаев, Ш.Д. Даниялов, Г.М. Магеррамов, А.Г. Рагимова // Годовой отчёт Научно-производственного объединения «Гидротехника и Мелиорации» Азербайджана. – Баку: 2019. – 65 с.
4. Гюльмамедов Ч.Д. Взаимосвязи поверхностных и подземных вод Ширванской степи Азербайджана // Международный журнал «Наука и мир». – 2018. – Т. II. – № 10 (62). – С. 14–20.
5. Геология Азербайджана. Т. VIII. Гидрогеология и инженерная геология/ под ред. А.Б. Алекперова и др. – Баку: Изд-во “Nafta-Press”, 2008. – 368 с.
6. Гюльмамедов Ч.Д. Влияние техногенной деятельности человека на гидрогеологические условия // Международный журнал «Наука и мир». – 2020. – Т. I. – № 2 (78). – С. 15–19.
7. Листенгартен В.А. Формирование ресурсов подземных вод аллювиально-пролювиальных равнин. – Баку: Изд-во «Элм», 1987. – 164 с.
8. Ибрафимов Ю.Г. Формирование, прогноз и рациональное использование ресурсов пресных подземных вод предгорных равнин Азербайджанской Республики: автореф. дис. ... д-ра наук. – Баку, 2005. – 48 с.
9. Семенчук А.В. Условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 69. – С. 61–68.
10. Семенчук А.В. Изучение условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова // Материалы V международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. – СПб, ВСЕГЕИ, 2017. – С. 911–914.
11. Geochemical and magnetic properties of sediments as pollution indicators. Case study: Suquia river, Córdoba, Argentina / L.D. Sepúlveda, K.L. Lecomte, A.I. Pasquini, E.G. Mansilla, M.A.E. Chaparro // Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. – 2019. – Vol. 36. – P. 183–194.
12. Барановская Е.И. Гидрогеологическое строение и гидрогеохимические условия артезианского межгорного бассейна Хэйхэ (северо-западн. Китай): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2018. – 27 с.
13. Литвак Р.Г. Расчеты понижений уровней грунтовых вод от действия дренажных скважин в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод // Центральноазиатский журнал исследований воды. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 18–23.
14. Дедюлина Е.А., Василевский П.Ю., Поздняков С.П. Чувствительность расчетов инфильтрационного питания к параметру связности пор зоны аэрации // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 2020. – № 1. – С. 81–87.
15. Evaluation of geochemical baselines and metal enrichment factor values through high ecological quality reference points: a novel methodological approach / R. Selvaggi, B. Damianić, E. Goretti, M. Pallottini, C. Petroselli, B. Moroni, G. La Porta, D. Cappelletti // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Vol. 27. – Iss. 1. – P. 930–940.
16. Relationships between riparian evapotranspiration and groundwater depth along a semiarid irrigated river valley / M.R. Lurtz, R.R. Morrison, T.K. Gates, G.B. Senay, A.S. Bhaskar, D.G. Ketchum // Hydrological Processes. – 2020. – Vol. 34. – № 8. – P. 1714–1727. DOI: 10.1002/hyp.13712.

17. Василевский П.Ю., Ван П. Оценка скорости фильтрации из русла реки по данным суточных колебаний температуры донных отложений на примере р. Хэйхэ (Внутренняя Монголия, Китай) // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. – 2019. – № 6. – С. 81–86.
18. Питьева К.Е., Барановская Е.И. Гидрогеохимические условия грунтового водоносного комплекса артезианского бассейна Хэйхэ // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 2015. – № 2. – С. 106–115.
19. Кронмиллер Дж.Г., Ноубл Б.Ф. Прерывистость мониторинга экологических последствий в регионе Нижняя Атабаска в Альберте, Канада: институциональные проблемы долгосрочного мониторинга и управления кумулятивными последствиями // Экологическое обозрение. – 2018. – Т. 26. – Вып. 2. – С. 169–180.
20. Geochemical distribution of major and trace elements in agricultural soils of Castilla-La Mancha (central Spain): finding criteria for baselines and delimiting regional anomalies / S. Bravo, E. García-Ordiales, F.J. García-Navarro, J.Á. Amorós, C. Pérezde-los-Reyes, R. Jiménez-Ballesta, J.M. Esbrí, E.M. García Noguero, P. Higuera // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – Vol. 26. – Iss. 4. – P. 3100–3114.
21. Groundwater geochemistry and microbial community structure in the aquifer transition from volcanic to alluvial areas / S. Amalfitano, A.D. Bon, A. Zoppini, S. Ghergo, S. Fazi, D. Parrone, P. Casella, F. Stano, E. Preziosi // Water Resources. – 2014. – Vol. 65. – P. 384–394.
22. Куренной В.В., Куренная Л.М., Соколовский Л.Г. Общее гидрогеологическое районирование. Концепции и реализации // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 9. – С. 42–48.
23. Barthel R.A. Call for more fundamental science in regional hydrogeology // Hydrogeology Journal. – 2014. – Vol. 22. – № 3. – P. 507–510.
24. Montcoudiol N., Molson J., Lemieux J.-M. Groundwater geochemistry of the Outaouais Region (Quebec, Canada): a regional-scale study // Hydrogeology Journal. – 2014. – Vol. 23. – № 2. – P. 377–396.
25. Wang J., Zuo R., Caers J. Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Vol. 181. – P. 106–115.
26. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility / R.T. Wilkin, T.R. Lee, D.G. Beak, R. Anderson, B. Burns // Applied Geochemistry. – 2018. – Vol. 89. – P. 255–264.

Информация об авторах

Чингиз Джахангир оглы Гюльмамедов, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий отделом грунтоведения и строительных материалов, ОАО «Научно Исследовательский Институт Мелиорации», Азербайджанская республика, 1130, г. Баку, ул. И. Дадашова, 324. gcin56@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7920-9111>

Поступила в редакцию: 17.05.2023

Поступила после рецензирования: 17.06.2023

Принята к публикации: 10.01.2024

REFERENCES

1. Aliyev F.Sh. *Underground waters of the Republic of Azerbaijan, use of reserves and geological problems*. Baku, Chashyogly Publ., 2000. 325 p. (In Russ.)
2. Ahmadzade A.D., Hashimov A.C. *Cadastre of land reclamation and water management systems*. Baku, Azernashr Publ., 2006. 626 p. (In Russ.)
3. Khasayev Q.A., Ismailov C.M., Asadov M.Ya., Abdullaev P.A., Danyalov Sh.D., Rahimova A.G., Magerramov G.M. Assessment of hydrogeological and ameliorative conditions of lands located in the zone of the impact of Upper Shirvan Canal and development of scientifically justified measures for its improvement. *Azerbaijan Hydrotechnique and Melioration Scientific Production Association annual report*. Baku, 2019. 65 p. (In Russ.)
4. Gulmammadov Ch.D. Interrelationships of surface and ground waters in the Shirvan steppe of Azerbaijan. *International scientific journal*, 2018, vol. II, no. 10 (62), pp. 14–20. (In Russ.)
5. *Geology of Azerbaijan*. Vol. VIII. *Hydrogeology and engineering geology*. Ed. by Alekberov A.B. Baku, Nafta-Press Publ., 2008. 368 p. (In Russ.)
6. Gulmammadov Ch.D. The impact of manmade activities on hydrogeological conditions. *International scientific journal*, 2020, vol. I, no. 2 (78), pp. 15–19. (In Russ.)
7. Listengarten V.A. *Formation of groundwater resources of alluvial-proluvial plains*. Baku, Elm Publ. House, 1987. 164 p. (In Russ.)
8. Israfilov Yu.G. *Formation, forecast and rational use of resources Fresh groundwater resources in foothill plains of Azerbaijan Republic*. Dr. Diss. Abstract. Baku, 2005. 48 p. (In Russ.)
9. Semenchuk A.V. Conditions of formation of exploitable groundwater reserves in the southwestern part of the Kaliningrad Peninsula. *Regional Geology and Metallogeny*, 2017, no. 69, pp. 61–68. (In Russ.)
10. Semenchuk A.V. Study of conditions of formation of exploitable groundwater reserves in the southwestern part of the Kaliningrad Peninsula. A.V. Semenchuk. *V International Conference of young scientists and specialists in memory of Academician A.P. Karpinsky*. St Petersburg, VSEGEI Publ., 2017. pp. 911–914. (In Russ.)
11. Sepúlveda L.D., Lecomte K.L., Pasquini A.I., Mansilla E.G., Chaparro M.A.E. Geochemical and magnetic properties of sediments as pollution indicators. Case study: Suquia River, Córdoba, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2019, vol. 36, pp. 183–194.

12. Baranovskaya E.I. *Hydrogeological structure and hydrogeochemical conditions of the Artesian Intermountain Heihe Basin (Northwest China)*. Cand. Diss. Abstract. Moscow, 2018. 27 p. (In Russ.)
13. Litvak R.G. Calculations of lowering of groundwater levels from the action of drainage wells under arid climate conditions, taking into account the heterogeneous inversion of groundwater evaporation. *Central Asian Journal of Water Research*, 2017, vol. 3, no. 4, pp. 18–23. (In Russ.)
14. Dedyulina E.A., Vasilevskii P.Yu., Pozdnyakov S.P. Sensitivity of calculations of infiltration feeding to the parameter of connectivity of pores in the aeration zone. *Vestnik (Herald) of the Moscow University. Ser. 4. Geology*, 2020, no. 1, pp. 81–87. (In Russ.)
15. Selvaggi R., Damianić B., Goretti E., Pallottini M., Petroselli C., Moroni B., La Porta G., Cappelletti D. Evaluation of geochemical baselines and metal enrichment factor values through high ecological quality reference points: a novel methodological approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, Iss. 1, pp. 930–940.
16. Lurtz M.R., Morrison R.R., Gates T.K., Senay G.B., Bhaskar A.S., Ketchum D.G. Relationships between riparian evapotranspiration and groundwater depth along a semiarid irrigated river valley. *Hydrological Processes*, 2020, vol. 34, no. 8, pp. 1714–1727. DOI: 10.1002/hyp.13712.
17. Vasilevsky P.Yu., Van P. Estimation of filtration velocity from river bed according to daily temperature variations of bottom sediments by the example of Heihe River (Inner Mongolia, China). *Vestnik (Herald) of the Moscow University. Ser. 4. Geology*, 2019, no. 6, pp. 81–86. (In Russ.)
18. Pityeva K.E., Baranovskaya E.I. Hydrogeochemical conditions of the groundwater aquifer complex of the Heihe artesian basin. *Vestnik (Herald) of the Moscow University. Series 4. Geology*, 2015, no. 2, pp. 106–115.
19. Cronmiller J.G., Noble B.F. The discontinuity of environmental effects monitoring in the Lower Athabasca region of Alberta, Canada: institutional challenges to long-term monitoring and cumulative effects management. *Environmental Reviews*, 2018, vol. 26, Iss. 2, pp. 169–180.
20. Bravo S., García-Ordiales E., García-Navarro F.J., Amorós J.Á., Pérezde-los-Reyes C., Iménez-Ballesta R., Esbrí J.M., García Nogueró E.M., Higuera P. Geochemical distribution of major and trace elements in agricultural soils of Castilla-La Mancha (central Spain): finding criteria for baselines and delimiting regional anomalies. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, Iss. 4, pp. 3100–3114.
21. Amalfitano S., Bon A.D., Zoppini A., Ghergo S., Fazi S., Parrone D., Casella P., Stano F., Preziosi E. Groundwater geochemistry and microbial community structure in the aquifer transition from volcanic to alluvial areas. *Water Resources*, 2014, vol. 65, pp. 384–394.
22. Kurennaya V.V., Kurennaya L.M., Sokolovsky L.G. General hydrogeological zoning. Concepts and implementations. Exploration and protection of subsoil. *Intelligence and security*, 2009, no. 9, pp. 42–48. (In Russ.)
23. Barthel R.A. Call for more fundamental science in regional hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, 2014, vol. 22, no. 3, pp. 507–510.
24. Montcoudiol N., Molson J., Lemieux J.-M. Groundwater geochemistry of the Outaouais Region (Quebec, Canada): a regional-scale study. *Hydrogeology Journal*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 377–396.
25. Wang J., Zuo R., Caers J. Dickovering geochemical patterns by faktor-based cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 181, pp. 106–115.
26. Wilkin R.T., Lee T.R., Beak D.G., Anderson R., Burns B. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc Smelting facility. *Applied Geochemistry*, 2018, vol. 89, pp. 255–264.

Information about the authors

Chingiz J. Gulmammadov, Cand. Sc., Associate Professor, Head of Soil Science and Construction Materials Department, Amelioration Scientific-Research Institute LLC, 324, I. Dadashov street, Baku, 1130, Azerbaijan. gcin56@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7920-9111>

Received: 17.05.2023

Revised: 17.06.2023

Accepted: 10.01.2024